

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja

2.1.1 Pengertian Baja

Baja dapat didefinisikan sebagai suatu campuran dari besi dan karbon, dimana unsur karbon (C) menjadi dasar campurannya. Disamping itu, baja juga mengandung unsur lain seperti sulfur(S), fosfor(P), silikon (Si) dan magnesium (Mg) yang jumlahnya dibatasi. Menurut eunorom, baja adalah sebuah paduan dari besi karbon dan unsur-unsur lain, dimana kadar karbonnya jarang melebihi 2% (Binarko,2010)

2.1.2 Baja Karbon

Pada umumnya baja karbon dapat dilas dengan seluruh proses pengelasan, baik pengelasan busur listrik, gas, tahan listrik atau jenis pengelasan lain. Akan tetapi kualitas berbeda, maka setiap pengelasan hanya cocok di terapkan untuk tujuan-tujuan tertentu misalnya untuk mengelas pelat yang relatif tebal, proses pengelasan SAW lebih efisien dibandingkan dengan pengelasan gas.

Berdasarkan klasifikasi baja karbon, baja yang mempunyai sifat *weld ability* yang baik adalah baja karbon rendah. Dari dua faktor itu *harden ability* dan kepekaan terhadap retak. Baja karbon rendah yang dilas dengan elektroda yang terbuat dari baja karbon rendah juga, maka harga kekerasan yang dihasilkan relatif rendah pula sehingga kepekaan retak relatif lebih rendah juga. Baja karbon paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S, dan Cu sifat karbon sangat tergantung pada karbon yang dikandung dalam baja tersebut. Baja karbon dapat

diklasifikasikan berdasarkan kadar karbon, keuletannya dan kekerasannya baja karbon terdiri dari tiga macam yaitu :

1. Baja karbon rendah (0,08% - 0,30%)

Baja karbon rendah juga disebut baja lunak, biasanya digunakan untuk konstruksi umum seperti pembuatan mur, baut, ulir sekrup, peralatan senjata, alat pengangkat presisi, batang tarik dan perkakas silinder. Baja ini mudah dilas dengan proses pengelasan yang ada dan hasil sambungannya berkualitas tinggi. Baja karbon rendah mempunyai kepekaan retak las yang rendah bila dibandingkan dengan baja karbon lain atau dengan baja karbon paduan.

2. Baja karbon sedang (0,030% - 0,050%)

Baja ini dapat dilas dengan berbagai flusi, teknik dan bahan yang digunakan di tuntun oleh karakteristik metalurgi pada logam dasarnya. Baja karbon sedang dapat digunakan untuk sejumlah peralatan mesin seperti roda gigi otomotif, proses penghubungan, poros engkol, sekrup sungkup dan alat angkat presisi.

3. Baja karbon tinggi (0,50% - 0,80%)

Baja karbon tinggi dibuat dengan cara di giling panas. Pembentukan baja dilakukan dengan cara menggerinda permukaanya, misalnya batang bor dan batang datar. Apabila baja ini digunakan untuk bahan produksi maka harus dikerjakan dalam keadaan panas dan digunakan untuk peralatan mesin-mesin berat, batang pengontril, alat-alat tangan seperti palu, obeng tang kunci mur, baja pelat, pegas kumparan dan sejumlah alat permainan. Proses pengelasan yang dapat dimanfaatkan untuk baja karbon tinggi adalah gas, busur terlingung, busur rendam, ermit, tahanan dan tekanan gas.

(Binarko,2010)

2.1.3 Baja ASTM A36

Baja ASTM A 36 merupakan baja karbon rendah (*low carbon*), baja ASTM A36 banyak digunakan pada industri perkapalan dan biasa juga pada gerbong kereta api (Wibowo,2016). Baja ini berbeda dengan baja paduan yang di tambahkan paduan lain dalam konsentrasi tertentu untuk menaikkan sifat mekanik dan meningkatkan ketahanan korosi, baja ini mempunyai kepekaan terhadap retak las yang rendah dibandingkan dengan baja karbon jenis yang lainnya (Rusnaldi,2017). Baja ASTM A36 mempunyai nilai karbon kurang dari 0,3% , nilai karbon sebesar 0,26%, P 0,04%, S 0,05%, Si 0,4%.

2.2 Pengelasan

2.2.1 Pengertian pengelasan

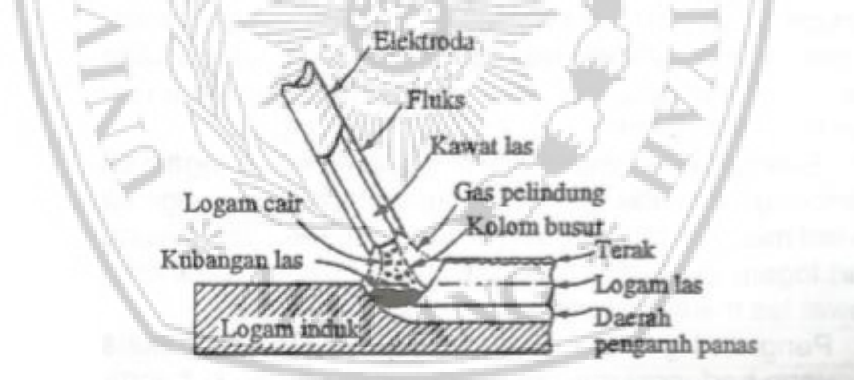
Menurut *Deutsche industrie Normen* las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan cair dari definisi tersebut dapat dijelaskan lebih lanjut bahwa las adalah suatu proses dimana bahan dengan jenis yang sama digabungkan menjadi satu sehingga terbentuk suatu sambungan melalui ikatan kimia yang dihasilkan dari pemakaian panas dan tekanan dijelaskan pada buku suharno (2008:7). Definisi pengelasan menurut AWS (*American welding society*) adalah proses penyambungan material dengan memanaskannya sampai mencapai temperatur pengelasan, dengan menggunakan tekanan atau dengan tanpa menggunakan logam pengisi (Huda,2013). Pada buku Hery sonawan (2003:1) pengelasan adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan 217cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau

tanpa tekanan dan dengan atau tanpa adanya logam tambahan dan menghasilkan sambungan yang kontinu.

2.2.2 Pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)

Shielded Metal Arc Welding (SMAW) Proses pengelasan dimana panas dihasilkan dari busur listrik antara ujung elektroda dengan logam yang dilas, elektroda terdiri dari kawat logam sebagai penghantar arus listrik kebusur dan sekaligus sebagai bahan pengisi (*filler*), selama pengelasan fluks mencair dan membentuk terak (*slag*) yang berfungsi sebagai lapisan logam terhadap udara sekitarnya. Fluks juga menghasilkan gas yang bisa melingungi butiran-butiran logam cair yang berasal dari ujung elektroda yang mencair dan jatuh ke tempat sambungan dijelaskan pada buku suharno (2008:20).

Busur listrik yang dibangkitkan, timbul diantara ujung elektroda dan permukaan dari logam induk, skematis pengelasan busur listrik yang menggunakan elektroda terbungkus diperlihatkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Las busur dengan elektroda terbungkus
(Hery Sonawan,2003:II-1)

las busur listrik elektroda terbungkus atau SMAW seringkali digunakan dalam proses penyambungan logam, beberapa keuntungan seperti proses pengelasan lebih mudah dan sederhana dibandingkan dengan las busur lainnya, peralatan yang diperlukan lebih sederhana, ringkas dan murah dibandingkan dengan las busur lainnya, lingkup penggunaan yang lebih luas, karena semua jenis logam dapat disambungkan dengan metode pengelasan ini (Suharno,2008:21)

2.3 Terminologi hasil lasan

1. Dilusi

Merupakan perbandingan antara logam induk yang mencair dan logam las, dilusi ini dapat diperoleh dengan membandingkan luas penampang logam induk yang mencair dan luas penampang logam

$$Dilusi, D = \frac{Lias\ A}{Luas\ A + Luas\ B} \times 100\%$$

2. Elektroda

Kutub listrik, terbagi dua yaitu anoda bermuatan positif dan katoda yang bermuatan negatif, istilah ini biasanya ada dalam pengelasan yang melibatkan listrik, misalnya dalam SMAW. Dalam SMAW, elektroda yang berperan sebagai kawat las yang menyuplai logam las.

3. HAZ

Merupakan kepanjangan dari *Heat Affected Zone* yang memiliki arti daerah terpengaruh panas dan mengalami perubahan struktur mikro dan terletak pada logam induk dikiri-kanan logam las.

4. Kampuh las

Bagian dari logam induk yang nantinya akan diisi oleh deposit las atau logam (*weld metal*). Kampuh las, awalnya adalah berupa kubangan las (*weld pool*) kemudian diisi dengan logam las.

5. Lebihan logam las atau plat (*Face reinforcement*)

Kelebihan dari logam las dibagian atas pelat yang diukur dari permukaan atas pelat.

6. Logam induk (*Base Metal*)

Logam yang dilas

7. Logam las (*Weld Metal*)

Campuran dari logam induk dan logam tambahan yang mencair nantinya membeku.

8. Logam pengisi

Logam yang ditambahkan dari luar untuk mengisi kampuh, dalam proses SMAW, logam pengisi juga berfungsi sebagai elektroda.

9. Mekanik las

Bagian dari logam las yang dilihat dari atas pelat.

10. Penetrasi

Kedalaman penembusan logam las dalam logam induk.

11. Polaritas balik

Istilah pengkutuban listrik pada pengelasan busur listrik dimana kutub positif dihubungkan dengan elektroda dan kutub negatif dihubungkan ke logam induk.

12. Polaritas lurus

Istilah pengkutuban listrik pada pengelasan busur listrik yang merupakan kebalikan dari polaritas balik dimana kutub negatif dihubungkan ke elektroda dan kutub positif dihubungkan ke logam induk.

13. Sambungan las

Bagian dari logam induk yang akan disambung. Pada bagian ini nantinya terjadi pencairan logam induk.

(Hery Sonawan, 2003:16-18)

2.4 Mampu las (*Weld Ability*)

Weld ability atau mampu las atau keterlasan adalah kemampuan suatu logam atau kombinasi logam yang dilas menjadi suatu konstruksi tertentu yang memiliki karakteristik dan sifat tertentu dan sanggup memenuhi persyaratan yang diinginkan. Pengertian yang lebih mudah dipahami dari sifat mampu las ini adalah logam dengan sifat mampu las tinggi berarti mampu di las dengan usaha yang minim, usaha yang dimaksud disini adalah :

- Apakah perlu diberikan pemanasan mula (*pre heat*) sebelum pengelasan ?
- Apakah harus diberikan pemanasan pasca proses pengelasan (*Post Weld Heat Treatment*)?
- Apakah memerlukan prosedur pengelasan khusus, misalnya penggunaan elektroda dengan fluks berhidrogen rendah?

Jika suatu logam dilas tidak banyak memerlukan usaha-usaha diatas maka dapat dikatakan mampu las logam itu tinggi. Sebagai contoh baja karbon rendah memiliki sifat mampu las tinggi karena pengelasan baja karbon rendah tidak memerlukan *PreHeat* ataupun *PWHT*, selain dipengaruhi oleh perlu tidankya *preheat* dan *PWHT*, sifat mampu las juga dapat dikatakan tinggi apabila selama dan setelah pengelasan tidak menghasilkan retak/cacat didaerah hasil pengelasan. (Hery Sonawan, 2003:14-15)

2.5 Tegangan sisa (*Residual Stress*)

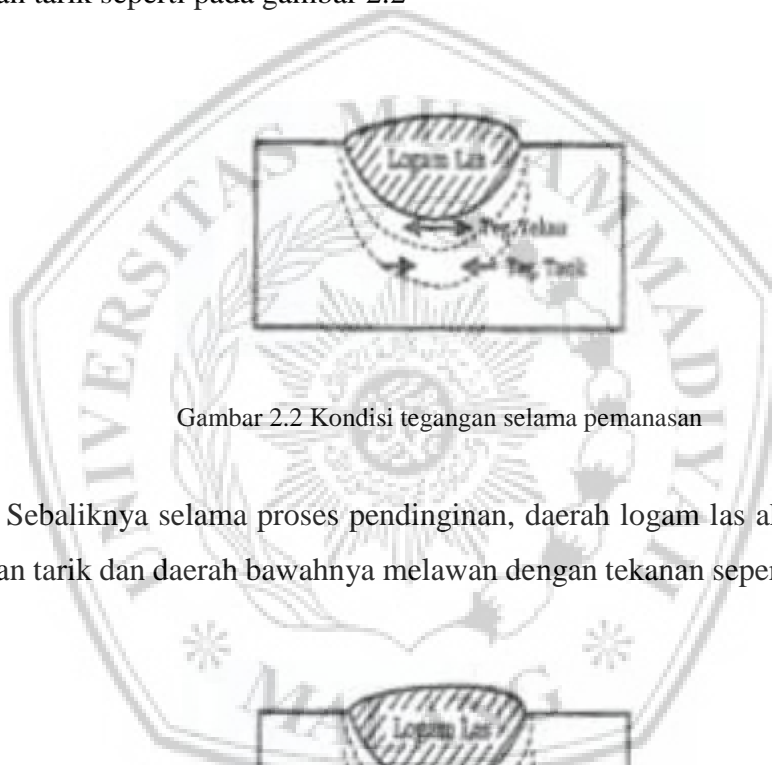
2.5.1 Pengertian tegangan sisa

Tegangan sisa adalah gaya elastis yang dapat mengubah jarak antar atom dalam bahan tanpa adanya beban dari luar (Futichah,2007). Dalam proses pengelasan, bagian yang dilas menerima panas pengelasan setempat dan selama

proses berjalan ssuhunya berubah terus sehingga distribusi suhu tidak merata (Wiryosumarto, 1988:135).

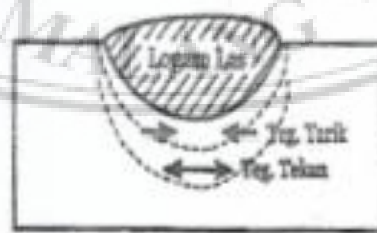
2.5.2 Proses terjadinya tegangan sisa

Selama pengelasan, daerah dibawah logam las akan mengalami pemuaian, sedangkan daerah dibawahnya mencoba menahannya. Bagian yang memuai itu akan mengalami tegangan tekan sedangkan daerah dibawahnya melawan dengan tegangan tarik seperti pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Kondisi tegangan selama pemanasan

Sebaliknya selama proses pendinginan, daerah logam las akan mengalami tegangan tarik dan daerah bawahnya melawan dengan tekanan seperti pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Kondisi tegangan selama pendinginan

Tegangan-tegangan yang terjadi pada pelat yang dilas ini akan terus ada hingga temperatur kamar. Tegangan yang demikian disebut dengan tegangan sisa (*Residual stress*). Jika tegangan yang tersisa itu berupa tegangan tarik maka hal ini

akan membahayakan konstruksi las, karena tegangan tarik ini jika melebihi kekuatan tarik daerah itu, maka mengakibatkan retak (*Crack*). Tegangan tarik yang terjadi pada gambar 2.3 mungkin saja sampai kepermukaan logam las. (Hery Sonawan, 2003:75-76)

Penyebab terjadinya tegangan sisa yaitu akibat dari tegangan termal seperti pada pengelasan dan perlakuan panas, disebabkan karena transformasi fasa seperti pada baja carbon, terjadi karena deformasi plastis yang tidak merata disebabkan gaya-gaya mekanis seperti pada pengerjaan dingin selain pengerolan, penempaan, pembentukan, logam atau pengejaan lain yang dilakukan dengan mesin (Suharno, 2008:91).

2.5.3 Dampak dari tegangan sisa

Tegangan sisa yang ada pada logam akan mempengaruhi sifat-sifat mekanik dari logam seperti , logam akan menjadi lebih getas, berkurangnya ketahanan lelah, menurunnya kekuatan las, dan menurunnya ketahanan terhadap korosi (Suharno, 2008:87).

2.6 Pengerjaan Panas (*Hot Working*)

Pengerjaan panas berlangsung diatas temperatur rekritisasi dari logam, sehingga rekritisasi berlangsung pada waktu yang bersamaan dengan deformasi, dan ketika pengerjaan panas tidak mencapai dari temperatur rekritisasi dari logam akan menyebabkan timbulnya pengerasan kerja (*work hardening*) akan mengakibatkan pengkakuan bahan, secara terus menerus yang menyebabkan menjadi lebih keras, kurang uletnya dari suatu logam, dan kurang mampu tempa, akan tetapi kekuatan dari logam akan bertambah. (Suharno, 2008:2)

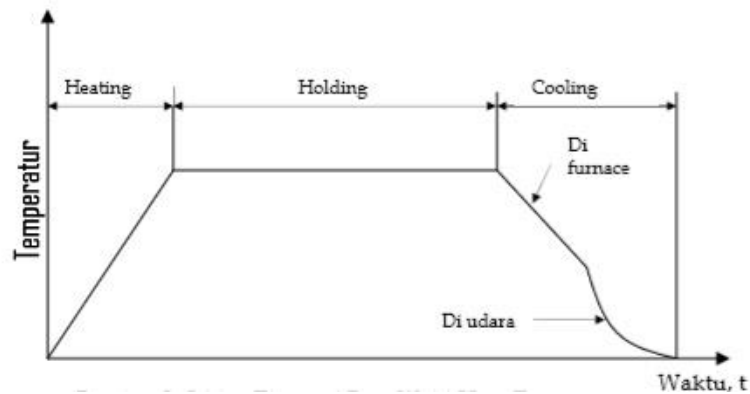
2.7 Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Proses perlakuan panas didefinisikan sebagai proses perubahan sifat mekanik material/logam dengan cara mengubah struktur mikro melalui pengaturan pemanasan dan laju pendinginan. Pemanasan dan pendinginan produk hasil pengelasan terjadi pada kondisi tertentu. Adanya pemanasan dan pendinginan produk lasan merupakan indikasi bahwa proses pengelasan sebenarnya terjadi proses perlakuan panas. Perubahan struktur mikro di HAZ adalah salah satu contoh produk perlakuan pengelasan. (Hery Sonawan, 2003:81)

Logam yang diberikan perlakuan panas akan menimbulkan perubahan struktur mikro dan sifat-sifat mekanik logam itu sendiri. Serta perbedaan tegangan di dalam bagian-bagian material. Secara alami hal itu dapat menimbulkan perbedaan potensial antara bagian-bagian tersebut. Akibat proses tersebut daerah logam yang mengalami perlakuan panas akan mengalami siklus termal cepat yang menyebabkan perubahan struktur metalurgi (Wiryosumarto, 1988)

2.7.1 *Post Weld Heat Treatment*

Post Weld Heat Treatment adalah proses pemanasan dan pendinginan pada logam untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu diperlukan untuk suatu konstruksi, misalnya kekuatan (*Strength*), kelunakkan (*Softness*), memperhalus ukuran butir, pada gambar 2.4 menggambarkan proses siklus termal yang terjadi pada *Post Weld Heat Treatment (PWHT)*.



Gambar 2.4 Siklus thermal *post weld heat treatment*.

Proses-proses yang terjadi pada siklus thermal *post weld heat treatment* pada gambar 2.4 di atas adalah :

- Heating* adalah proses pemanasan sampai temperatur diatas atau dibawah temperatur kritis dari suatu material.
- Holding* adalah penahanan material pada temperatur pemanasan untuk memberika kesempatan adanya perubahan struktur mikro.
- Cooling* adalah mendinginkan dengan kecepatan tertentu tergantung pada sifat material yang akan di inginkan.

(Purwaningrum,2006)

2.7.2 *Stress Relief Annealing*

Proses *stress relief* merupakan proses perlakuan panas pasca pengelasan atau *post weld heat treatment (pwht)* yang bertujuan untuk mengurangi tegangan sisa dan menghilangkan struktur mikro berupa martensit yang dihasilkan selama proses pengelasan. Sehingga meningkatkan keuletan las dan daerah *HAZ* serta meningkatkan ketahanan terhadap korosi. *Stress relief* sendiri biasanya dilakukan dengan memanaskan pada interval suhu 450°C sampai 700°C, dan untuk waktu pendinginan secara lambat didiamkan di dapur pemanasa antara 1 sampai 3 jam lamanya. (Binarko,2010)

Annealing adalah proses PWHT yang mempunyai tujuan untuk memperbaiki keuletan dan menurunkan tegangan tarik dari suatu logam. *Annealing* sangat mempengaruhi sifat mekanis baja, dengan dilakukannya *annealing* dapat menurunkan kekerasan dari suatu baja, yang dikarenakan terjadinya dislokasi maka sebelumnya tersusun secara tidak teratur, dengan adanya penyusunan dislokasi berarti membuat material tersebut kurang kuat, karena *annealing* akan menghasilkan pertumbuhan butir yang terjadi pada saat proses rekristalisasi, pertumbuhan butir terjadi saat kristalisasi primer terhenti dimana kristal yang tumbuh akan menelan semua yang mengalami regangan dan pada saat itu butir kecil menyusut dan butir yang lebih besar tumbuh, jika butir semakin membesar maka dislokasi semakin mudah bergerak karena tidak ada yang menghambat pergerakannya, apabila dislokasi semakin mudah bergerak maka baja semakin tidak kuat hingga kekuatan dan kekerasan dari suatu mengalami penurunan.

(Trihutomo, 2014)

2.7.3 Penelitian Sebelumnya menggunakan PWHT (*Post Weld Heat Treatment*)

Pada penelitian sebelumnya sudah mencoba melakukan untuk menghilangkan tegangan sisa pada sambungan las, berikut ini penelitian yang menggunakan *Post Weld Heat Treatment* :

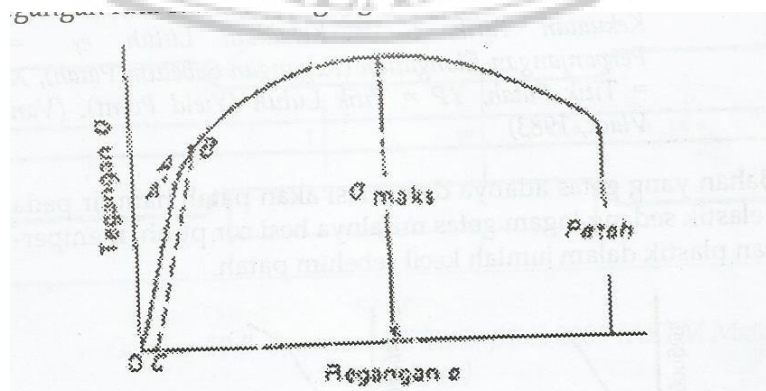
1. Weldy Sonaria Binarko, Tahun 2010, "Stress Relief Annealing untuk uji kekerasan dan mikrostruktur pada hasil pengelasan (SAW) pipa baja API 5L X65", berdasarkan dari penelitian tersebut spesimen yang diperlakukan panas akan meningkatkan kekerasan pada suatu material logam, dan perlakuan stress relief annealing pada suhu 500°C, 600°C, 700°C dengan penahanan waktu sebesar 60 menit, stress relief annealing dengan suhu 700°C yang menghasilkan nilai kekerasan paling tinggi pada daerah HAZ dan daerah logam induk, sedangkan pada uji mikro struktur pada daerah las didominasi oleh ferit acicular namun presentase ferit Widmanstätten dan ferit batas butir.

2. Gunawan Dwi Haryadi,dkk, Tahun 2017, “Pengaruh *Post Weld Heat Treatment (PWHT)* dengan pemanasan induksi terhadap sifat mekanik dan struktur mikro sambungan las SMAW pada pipa API 5L X52“, berdasarkan penelitian tersebut jika temperatur PWHT semakin tinggi , maka jumlah *ferrite* yang di hasilkan semakin banyak dan pada daerah *weld metal* PWHT menghasilkan peningkatan struktur *ferrite acicular* dan penurunan jumlah struktur *ferrite widmanstatten*, hal ini lah yang menyebabkan peningkatan ketangguhan dan penurunan kekerasan pada spesimen yang mendapat perlakuan PWHT. Pada temperatur 400°C, 500°C, 600°C, 700°C, 800°C , Nilai impact terbesar pada temperatur 800°C dengan nilai sebesar 2,14 Joule/mm², dan PWHT diketahui sangat berpengaruh terhadap penurunan nilai kekerasan dari material , baik pada daerah *weld metal* , HAZ, maupun base metal. Pada temperatur 800°C merupakan material yang mengalami penurunan kekerasan terbesar dan mempunyai nilai kekerasan yang seragam baik pada daerah *weld metal* (146,7 HVN) , HAZ(14,6 HVN), maupun base metal (143,5 HVN).
3. Korna Ariesta, dkk , tahun 2014 ,”Pengaruh *Post Weld Heat Treatment (PWHT)* – *Tempering* pada sambungan medium carbon steel NP-42 dengan las thermit terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro “, berdasarkan penelitian ini yang mempunyai tujuan untuk mengembalikan kondisi struktur material ke semula, maka dilakukan lah PWHT dan didapat nilai kekerasan material baja NP -42 tertinggi pada daerah base metal yaitu pada suhu 425°C (374,7 HB), daerah HAZ metal yaitu pada suhu 425°C (393,7 HB), dan daerah weld metal pada suhu 475°C (360,7 HB).
4. Yustiasih Purwaningrum ,Tahun 2006, “Karakterisasi sifat fisis dan mekanis sambungan las SMAW baja A-287 sebelum dan sesudah PWHT” dari hasil penelitian tersebut hasil dari kekuatan tarik logam induk , hasil las (tanpa pwht) , dan hasil pengelasan dengan pwht 300°C dan 600°C mempunyai nilai yang

hampir sama. Hasil las dengan perlakuan panas 850°C mempunyai nilai yang optimum dengan perpanjangan paling tinggi dan kekuatan tarik paling rendah, hal tersebut sesuai dengan tujuan utama annealing yaitu memperbaiki keuletan dan menurunkan tegangan tarik. Dan nilai kekerasan paling tertinggi pada 300°C dengan perlakuan panas.

2.8 Uji Tarik

Pengujian tarik dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kekuatan tarik dari suatu logam. pengujian tarik biasanya dilakukan terhadap spesimen atau batang uji dengan memberikan beban tarik secara perlahan-lahan. Jika logam ditarik dengan beban maka akan terjadinya deformasi yang berupa pengecilan penampang atau pertambahan panjang, dan di dalam pengujian tarik deformasi ada dua, deformasi plastik benda tidak dapat kembali seperti kebentuk semula setelah tegangan yang di berikan menghilang, deformasi elastis benda dapat kembali kebentuk semula setelah tegangan nya menghilang, data yang diperoleh dari pengujian tarik pada umumnya di gambar sebagai diagram tegangan regangan seperti pada gambar 2.5, perilaku umum bahan yang dibebani dapat diklasifikasikan sebagai ulet dan getas, tergantung apakah beban tersebut memperlihatkan kemampuan formasi elastis atau tidak. (Suharno,2008:195)



Gambar 2.5 Grafik tegangan dan regangan